

23/38

PT 1593 PCI (y)



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 50 006 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**C 04 B 38/00**  
C 04 B 41/88  
B 28 B 1/00

⑦① Aktenzeichen: 197 50 006.4  
⑦② Anmeldetag: 12. 11. 97  
④③ Offenlegungstag: 25. 6. 98

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12

<p>③① Unionspriorität: A 2218/96 18. 12. 96 AT</p> <p>⑦① Anmelder: Electrovac, Fabrikation elektrotechnischer Spezialartikel Ges.m.b.H., Klosterneuburg, AT</p> <p>⑦④ Vertreter: Fay und Kollegen, 89073 Ulm</p>	<p>⑦② Erfinder: Schmitt, Theodore Nicolas, Dr., Wien, AT</p>
--	--

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

- ⑤④ Verfahren zur Herstellung von keramischen Formkörpern
- ⑤⑦ Verfahren zur Herstellung von keramischen oder metallischen Formkörpern, bei dem eine Mischung aus keramischem bzw. metallischem Pulver und Bindemittel fließfähig gemacht, in die gewünschte Form gebracht wird und anschließend der Binder durch Erhitzen ausgetrieben und der dabei entstehende Formling zu einem porösen Formkörper gesintert und durch trennende und abtragende Verfahren nachbearbeitet wird, wobei die Poren des gesinterten Formkörpers vor der trennenden und abtragenden Formgebung mit einem Festiger gefüllt werden, welcher Festiger nach Abschluß des trennenden und abtragenden Bearbeitungsvorganges wieder entfernt wird.

DE 197 50 006 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von keramischen oder metallischen Formkörpern, bei dem eine Mischung aus keramischem bzw. metallischem Pulver und Bindemittel fließfähig gemacht, in die gewünschte Form gebracht wird und anschließend der Binder durch Erhitzen ausgetrieben und der dabei entstehende Formling zu einem porösen Formkörper gesintert und durch trennende und abtragende Verfahren nachbearbeitet wird.

Die Herstellung eines Formkörpers mit Strukturierung ist auf zweierlei Arten möglich:

- a) nachträgliche Bearbeitung des fertiggesinterten Formteils und
- b) Formgebungsverfahren mit anschließender Sinterung und eventueller Nachbearbeitung, wenn notwendig.

Wird die Bearbeitung bzw. Nachbearbeitung entsprechend Möglichkeit a) nach dem endgültigen Sintervorgang durchgeführt, weist der Bauteil bereits die hohe Endfestigkeit auf, so daß er nur mehr sehr schwierig und damit zeit- und kostenaufwendig bearbeitet werden kann.

- Bei der Vorgangsweise nach Variante b) ist die Herstellung von komplexen dreidimensionalen Strukturen sehr aufwendig aufgrund der hierfür notwendigen Werkzeuge. Diese sind in der Anschaffung teuer und die Zugriffszeit bis zum fertigen Werkzeug kann Wochen bis Monate dauern. Dreidimensionale Strukturen mit Hinterschnidungen sind kaum möglich bzw. nur mittels aufwendigen Konstruktionen (zerlegbar, was aber die Produktivität und die Reproduzierbarkeit stark einschränkt), herstellbar. Werkzeuge für komplexe Formkörper unterliegen auch einer wesentlich höheren Verschleißrate als einfache Werkzeuge.

Weiters ist zu beachten, daß der Bauteil beim nachfolgenden Sintervorgang Schrumpfungsvorgänge mitmacht, welche die – durch die Bearbeitung erreichten – geometrischen Abmessungen verändern und daher schon bei der Bearbeitung so gut wie möglich berücksichtigt werden müssen. Des weiteren läßt sich entbindertes bzw. leicht ungesintertes Material zwar relativ leicht mittels trennender Verfahren bearbeiten, doch kann der leicht angesinterte Teil in Bruchstücke zerfallen.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Herstellungsverfahren der eingangs zitierten Art dahingehend weiterzubilden, daß eine problemlose Bearbeitung des Formlings mittels trennender Bearbeitungsverfahren möglich ist.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist hohe Stückzahlen mit komplexen, dreidimensionalen Strukturen einfach und rasch mit großer Genauigkeit und hoher Reproduzierbarkeit herzustellen.

- Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Herstellung von Formkörper mit folgenden hervorstechenden Merkmalen: gleichmäßige Verteilung der Dichte über den Formkörper, auch in den dreidimensionalen Strukturen sowie eine geringe Oberflächenrauigkeit.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist eine Steigerung der Produktivität und eine Vereinfachung des Entbinderungs- und Sinterungsprozesses durch Eliminierung der komplexen Temperaturprogramme sowie durch Reduzierung der Prozesszeiten.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß die Poren des gesinterten Formkörpers vor der trennenden und abtragenden Formgebung mit einem Festiger gefüllt werden, welcher Festiger nach Abschluß des trennenden und abtragenden Bearbeitungsvorganges wieder entfernt wird.

- Damit kann dem in dieser Herstellungsphase relativ geringe Festigkeit aufweisenden Formkörper eine für trennende Bearbeitungsverfahren notwendige Festigkeit verliehen werden. Der Sintervorgang ist bereits vor der Formgebung mittels trennender und abtragender Bearbeitungsschritte abgeschlossen, so daß nach der Bearbeitung keinerlei thermisch bedingten Abmessungsänderungen mehr erfolgen können.

Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, daß als Festiger ein Material ausgewählt aus der Gruppe der Thermoplaste, Polyacrylate, Polysaccharide, Fettalkohole, Fettsäuren und ihre Salze oder Fettsäureamide verwendet wird. Derartige Festiger lassen sich besonders einfach in die Poren des Formkörpers einbringen, sie füllen diese vollständig aus und gewährleisten dadurch eine hohe Festigkeit des Formkörpers. Eine andere Ausführungsform der Erfindung kann vorsehen, daß als Festiger ein anorganisches Material, wie z. B. Silikate, verwendet wird.

Mit solchen Festigern ist eine noch höhere Festigkeit des Formkörpers erreichbar.

- Ein weiteres Merkmal der Erfindung kann sein, daß der Festiger durch Erhitzen oder durch Sublimation aus dem Formkörper entfernt wird.

Der ohnehin für das Sintern notwendige Ofen kann gleichzeitig für die zum Ein- und Ausbringen des Festigers notwendige Aufheizung verwendet werden, diesbezügliche separate Einrichtungen brauchen nicht vorgesehen zu werden.

- Alternativ dazu kann auch vorgesehen sein, daß der Festiger mittels eines Lösungsmittels aus dem Formkörper entfernt wird.

Bei richtiger Auswahl des Lösungsmittels kann auf diese Weise eine besonders vollständige Entfernung des Festigers erreicht werden.

- Bei einer besonders bevorzugten Variante der Erfindung kann vorgesehen sein, daß der Formling vor dem trennenden Bearbeitungsvorgang zu einem porösen Formkörper, aufweisend eine Porosität von 10–50 Vol.-%, vorzugsweise 20–40 Vol.-%, im besonderen 28–32 Vol.-%, gesintert wird.

Bei einer in den angegebenen Bereichen liegenden Porosität weist der Formkörper eine für die Handhabung ausreichende Festigkeit auf, kann jedoch gleichzeitig Bindemittel in einer solchen Menge aufnehmen, daß die für ein trennendes Bearbeitungsverfahren notwendige Festigkeit erreichbar ist.

- In Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, daß der Formkörper nach dem trennenden Bearbeitungsvorgang abermals gesintert wird.

Nach Durchführung dieses zusätzlichen Schrittes kann ein dichtgebrannter Formkörper hergestellt werden.

Die Erfindung wird im folgenden ausführlicher beschrieben.

Für die Herstellung von porösen Keramik- bzw. Metallbauteilen sind eine Reihe von Formgebungsverfahren bekannt.

Die wichtigsten Beispiele sind Spritzgießen, Heißgießen, Trockenpressen, Foliengießen usw. Bei jedem der genannten Verfahren wird keramisches bzw. metallisches Pulver mit einem Bindemittel versetzt, diese Mischung fließfähig gemacht und in die gewünschte Form gebracht.

Als konkretes Beispiel wird im folgenden das Heißgießverfahren genauer behandelt. Hier werden als Bindemittel Thermoplaste, wie z. B. Paraffine oder Wachse dem Keramik- oder Metallpulver zugesetzt und diese Mischung durch Erhitzen flüssig gemacht. Die dabei erhaltene fließfähige Masse wird in eine Form eingegossen. Nach dem Erstarren des Bindemittels wird das Werkstück aus der Form genommen, das Bindemittel durch Erhitzen ausgetrieben und das Werkstück gesintert. Je nach Sinterdauer und der dabei gewählten Sintertemperatur kann ein poröses oder dichtes Gefüge erzeugt werden.

Eine weitere Möglichkeit ist das Trockenpressen von Keramiken. Hier wird eine fließfähige Pulvermischung in ein entsprechendes Werkzeug gefüllt und mittels Stempel in die gewünschte Form gepreßt. Der notwendige Binder oder auch Preßhilfsmittel kann hier im Vergleich zu obigem Heißgießverfahren weitaus weniger komplex aufgebaut sein, auch ist die zu verwendende Menge wesentlich geringer. Als in Frage kommende Bindemittel können vor allem Stearate und Paraffine angeführt werden.

Bei allen derartigen Formgebungsverfahren wird die Gestalt des erzeugten Formlings durch die Form des verwendeten Gieß- bzw. Preßwerkzeuges bestimmt. Soll ein in seiner geometrischen Form relativ komplizierter Bauteil hergestellt werden, ist auch ein dementsprechend kompliziert geformtes -und damit aufwendig herzustellendes- Gieß- bzw. Preßwerkzeug erforderlich.

Dabei ist zu beachten, daß bedingt durch die geometrische Form des herzustellenden Bauteiles eine unsymmetrische Verteilung des Keramikpulvers gegeben sein kann. In einem großvolumigen Körper ist mehr Keramikpulver enthalten als in einer mit diesem einstückig ausgebildeten kleinvolumigen Anformung. Diese unterschiedlichen Materialanhäufungen in ein und demselben Bauteil führen zu bereichsweise unterschiedlichen Schrumpfvorgängen beim Entbindern und beim Sintern, wodurch bei beiden Verfahrensschritten Verzugerscheinungen und Verwerfungen auftreten können.

Insbesondere bei Verfahren mit hohem Binderanteil, wie z. B. Spritzguß, Heißgießen darf die Entbinderung von Formkörpern unregelmäßiger Geometrie nur sehr langsam geschehen, da sonst Aufplatzungen an der Oberfläche, Deformationen im Formteil auftreten und diesen damit unbrauchbar machen. In Abhängigkeit von den speziellen Binderzugaben und Gleitmittelzusätzen wird die Entbinderung bei Temperaturen von 300 bis 700°C nach einem stoff- und erzeugnissspezifischen Zeitprogramm durchgeführt. Hierfür sind Öfen mit komplexen Temperaturprogrammen und sehr genau einzuhaltenden Temperaturprofilen notwendig. Die Prozeßdauer kann, je nach Komplexität des Teiles, mehrere Tage betragen. Bei der anschließenden Sinterung werden aufgrund der unterschiedlichen Materialanhäufungen Spannungen im Material erzeugt, die zu Deformationen des Formkörpers führen. Auch hier muß deshalb sehr langsam und vorsichtig aufgeheizt werden. Die gleiche Vorsicht muß anschließend beim Abkühlen bis auf Raumtemperatur erfolgen.

Bei keramischen Formkörpern tritt noch hinzu, daß die verwendeten keramischen Pulver eine hohe Abrasivität aufweisen und damit die Werkzeuge stark verschleifen. Wenn eine hohe Genauigkeit des Formkörpers gefordert ist, wird durch die Abrasivität des Keramikpulvers - insbesondere bei kompliziert geformten Werkzeugen - deren Standdauer drastisch herabgesetzt.

Aus diesen Gründen wird bei der Herstellung von kompliziert geformten Keramik- oder Metallbauteilen oftmals ein in seiner geometrischen Gestalt einfaches Werkzeug verwendet und der Formling durch ein dem Guß- bzw. Preßvorgang nachfolgendes trennendes und abtragendes Bearbeitungsverfahren in seine endgültige Form gebracht.

Diese Nachbearbeitung mittels trennender und abtragender Verfahren kann unmittelbar nach dem Binder-Austreiben erfolgen (Grünbearbeitung), nach einem sog. Zwischen- oder Schrühbrand, nach dem der Bauteil noch nicht seine endgültige Festigkeit erreicht hat (Weißbearbeitung) oder nach dem Sintern im Zustand der Endfestigkeit (Hartbearbeitung).

Sämtliche dieser Möglichkeiten haben jedoch Nachteile:

- 1.) Grünbearbeitung: Entbindertes Material läßt sich zwar relativ leicht mittels trennender Verfahren bearbeiten, doch aufgrund der wenig festen Verbindung zwischen den einzelnen Material-Körnern werden Körner oder sogar ganze Agglomerate aus der zu bearbeitenden Oberfläche herausgerissen, so daß keine glatten Flächen und keine genauen Abmessungen herausgearbeitet werden können. Auch geringe Wandstärken bei Stegen und sonstigen dreidimensionalen Strukturen lassen sich deshalb nicht oder nur schwer realisieren.
- 2.) Weißbearbeitung: Hier, wie auch bei der Grünbearbeitung ergibt sich als wesentlicher Nachteil, daß sich beim anschließenden Sinterschritt noch Änderungen der Abmessungen ergeben. Hierbei wird nämlich die Porosität des Werkstückes verringert und damit seine Abmessungen verkleinert. Diese dem eigentlichen Bearbeitungsverfahren nachfolgenden Abmessungsänderungen müssen natürlich bei der Bearbeitung selbst berücksichtigt werden.
- 3.) Hartbearbeitung: Ist sehr schwierig durchzuführen, da der Bauteil bereits hohe Festigkeit hat. Als mögliche Verfahren kommen nur mehr Schleifen, Honen und Läppen mit Diamantwerkzeugen in Frage. Aus dieser Tatsache heraus ergibt sich, daß größere Formänderungen durch Hartbearbeitung sehr kostenintensiv und komplizierte Bauteile kaum mehr zu fertigen sind, so daß in ihrer Struktur schon relativ genau mit dem zu fertigenden Formteil übereinstimmende Gießwerkzeuge verwendet werden müssen. Solche Werkzeuge sind einerseits in der Fertigung aufwendig, andererseits unterliegen komplexe Werkzeuge einer wesentlich höheren Verschleißrate als einfache Werkzeuge.

Für die Herstellung von Keramik- oder Metallbauteilen wird erfindungsgemäß nun so vorgegangen, daß der Formling nach dem Austreiben des Bindemittels zu einem porösen Formkörper gesintert wird. Soll der herzustellende Formkörper porös sein, so wird der Formling gleich bis zu seiner endgültigen Porosität gesintert und weist damit bereits endgültige Abmessungen auf.

Als konkrete Werte für die nach diesem Sintervorgang vorliegende Porosität können 10-50 Vol.-% angegeben werden, wobei der Bereich zwischen 20-40 Vol.-% und insbesondere der Bereich zwischen 28-32 Vol.-% besonders günstig ist.

Für ein trennendes und abtragendes Bearbeitungsverfahren hätte der Bauteil in diesem Stadium eine zu geringe Eigen-

festigkeit. Um ihm eine höhere Eigenfestigkeit zu verleihen, werden die Poren des gesinterten Formkörpers vor der trennenden und abtragenden Formgebung mit einem Festiger gefüllt.

Unter Festiger oder Verfestiger wird ein Material verstanden, welches die Festigkeit des Formlings nach dem "Vorsintern" soweit erhöht, damit der poröse, leicht angesinterte Formling durch Bearbeitung nicht zerfällt und eine reibungslose Bearbeitung ermöglicht wird. Die nachträgliche Entfernung des Festigers ist sowohl durch Wärme – über die Vorgänge der Verflüssigung und der anschließenden Verdampfung oder über den Vorgang der Sublimation –, mittels Lösungsmittel durch Auflösung des Festigers als auch mittels Bakterien von biologisch abbaubaren Festigern möglich.

Als Festiger sind eine Vielzahl von organischen Verbindungen bzw. Stoffe möglich. Im folgenden eine Auswahl geeigneter Systeme. Eine große Auswahl an geeigneten Systemen gibt es in der Familie der Thermoplaste wie die Polyolefine z. B. Polyethylen, die Polyvinylverbindungen z. B. Polyvinylalkohol sowie Copolymerisate wie ABS und SAN, Polyamide, Polyacetale, Polycarbonate, Polyester, Polyäthylenoxide z. B. Polyphenylenoxid (PPO).

Andere mögliche Stoffe sind Polyacrylate, Polysaccharide wie z. B. Stärke, Fettalkohole, Fettsäuren und ihre Salze, Fettsäureamide, Fettsäureester, Celluloseester usw. Es ist aber auch möglich, anorganische Festiger, wie z. B. Silikate, zu verwenden. Diese haben jedoch den Nachteil, daß sie nur mehr bedingt entfernt werden können. Diese Aufzählung kann natürlich nicht vollständig sein, da die Eignung eines entsprechenden Stoffsystems empirisch erfolgt.

Die Füllung der Poren des vorgesinterten Formkörpers kann zum Beispiel so geschehen, daß der Formkörper in ein flüssiges Festigersystem eingetaucht wird, so daß sich die vorhandenen Poren mit Festiger füllen. Anschließend wird der getränkte Formkörper aus dem flüssigen Festiger gehoben und der Festiger erstarren gelassen. Es ist auch möglich, Festiger durch Lösen in Lösungsmittel zu "verflüssigen" und anschließend den Festiger durch Verflüchtigung des Lösungsmittels erstarren zu lassen. Der erstarrte Festiger verleiht dem Formkörper eine so hohe Eigenfestigkeit, daß er sich problemlos bearbeiten läßt; Fräsen und Bohren sind leicht möglich. Aufgrund der hohen Abrasivität des verwendeten Keramikpulvers ist es günstig, für die Bearbeitung PKD (polykristalline Diamant)- bzw. Voll-diamant-Werkzeuge zu verwenden.

Für eine erste grobe Vorauswahl der in Frage kommenden Festiger konnten folgende Kriterien aufgestellt werden:

Ein idealer Festiger weist einen definierten Schmelz- bzw. Erstarrungspunkt auf. Weniger ideale Festiger weisen einen Schmelz- bzw. Erstarrungsintervall auf. Weiterhin sollte der Übergang vom flüssigen in den festen Zustand beim Festiger ohne zu große Volumensänderungen vor sich gehen um beim Erstarrungsvorgang bzw. beim Verfestigungsvorgang die Form nicht durch starke Schrumpfungsvorgänge zu zerstören. Weniger wichtig wird dies, wenn der Festiger gute plastische Eigenschaften aufweist. Dadurch kann sich der festgewordene Festiger an die Form anpassen. Daneben sollte ein idealer Festiger das Material des porösen Formkörpers benetzen, so daß zu seiner Einbringung in die Poren kein äußerer Druck auf ihn ausgeübt werden muß. Es sind aber auch Festiger denkbar, welche mittels Druck eingebracht und unter Druck erstarren gelassen werden. Wird der Festiger mittels Wärme aus dem Formkörper entfernt, ist es notwendig, daß der Festiger eine unter der Sintertemperatur des Formteiles liegende Austreibtemperatur aufweist, damit beim Austreiben keine zusätzlichen Formänderungen des Formteiles erfolgen. Wie bereits erwähnt, stellt diese Aufzählung von Kriterien nur eine Auswahlhilfe dar. Der optimalste Festiger muß dann jedoch empirisch für jede keramische Zusammensetzung ermittelt werden. Konkret können beispielsweise folgende Festigertypen angegeben werden:

Material + Sintertemp.	Name des Festigers (Festigerkomponenten)	Schmelz-/Erstarrungs- temperatur bzw. -bereich	Austreibtemp. (Bereich)
---------------------------	---	---	----------------------------

Wolfram 1400 - 1700°C	Zinkstearat	120 - 160°C	300 - 400°C
--------------------------	-------------	-------------	-------------

Molybdän: 1200 - 1400°C	Paraffin	40 - 70°C	300 - 450°C
----------------------------	----------	-----------	-------------

keramische poröse Formkörper:

Material + Sintertemp.	Name des Festigers (Festigerkomponenten)	Schmelz-/Erstarrungs- temperatur bzw. -bereich	Austreibtemp. (Bereich)
---------------------------	---	---	----------------------------

SiC

800 - 900°C

Paraffin

40 - 70°C

300 - 450°C

Aluminiumnitrid:

1100 - 1200°C

Stearinsäure

40 - 70°C

400 - 600°C

In Bezug auf die Geometrie des herzustellenden Formkörpers ist eine große Flexibilität gegeben, prinzipiell kann jede beliebige Gestalt aus dem mit Festiger getränkten Formkörper herausgearbeitet werden. Nachdem dieser Formkörper relativ geringe Festigkeit aufweist, können auch umfangreichere Materialabtragungen vorgenommen werden, insbesondere kann aus einem in seiner Gestalt sehr einfachen Formling, welcher mit einfachen Werkzeugen und ohne die eingangs erwähnten Probleme der Materialspannungen beim Binderaustreiben und Sintern erzeugt werden kann, Formkörper mit komplexen Oberflächenstrukturen geschaffen werden. Sowohl Hinterschnidungen als auch in beliebigen Richtungen verlaufende Bohrungen, Nuten, Vertiefungen unterschiedlichster Geometrie; Stege, Strukturen mit sehr dünnen Wandstärken sowie deren Kombinationen sind sehr leicht zu realisieren. Dabei ist stets eine geringe Oberflächenrauigkeit erzielbar, weil die oben angeführten Probleme der Grünbearbeitung – Herausreißen von Körnern oder ganzen Körpergruppen – durch die vom Festiger herrührende zusätzliche Festigkeit zuverlässig vermieden werden.

Diese Aufzählung soll nur die Möglichkeiten aufzeigen, doch wird sie nicht vollständig sein. Die Vielzahl der mittels dieser Methode herzustellenden Strukturen ist vergleichbar mit den Möglichkeiten der Bearbeitung von Metall wie z. B. Aluminium, Stahl od. dgl.

Als günstig ergibt sich beim erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren, daß das beim Bearbeiten anfallende Abfallmaterial rezyklierbar ist.

Des weiteren ist eine Verknüpfung der Erfindung mit einem anderen Formgebungsverfahren möglich. Hierdurch lassen sich die Schrumpfungparameter bei komplexen Geometrien schnell und leicht meßbar machen, so daß die zeitaufwendigen und teuren Korrekturen für komplexe Werkzeuge wegfallen, da die Schrumpfungparameter vorher über eine Versuchsreihe ermittelt werden und bei der Konstruktion der Werkzeuge berücksichtigt werden können.

Nach Abschluß des trennenden und abtragenden Bearbeitungsvorganges wird der Festiger aus den Poren entfernt. Wird der Festiger mittels Wärme aus dem Formkörper entfernt, verlangt diese Erwärmung allerdings bei weitem nicht so hohe Temperaturen bzw. Einwirkungszeitdauern wie ein Sintervorgang, so daß im Zuge dieser Wärmebehandlung ausschließliche der Festiger ausgetrieben, aber keinerlei Form- bzw. Porositätsveränderungen und daraus eventuell resultierende Spannungen und Verzugserscheinungen beim Bauteil auftreten. Damit kann der Bauteil im Gegensatz zu den bisher bekannten Herstellungsverfahren auf das exakte Endmaß bearbeitet werden, wodurch eine besonders hohe Genauigkeit des Bauteils erreichbar ist; Toleranzen im Bereich von  $\pm 0,01$  mm sind durchaus möglich.

Neben der Austreibung durch Erhitzung ist es auch möglich, den Festiger mittels Sublimation zu entfernen. In diesem Fall wird je nach Festiger ein entsprechendes Vakuum und eine entsprechende Temperatur eingestellt, so daß der Festiger ohne die flüssige Phase zu durchlaufen, sofort in die Gasphase übergeht.

Eine weitere Möglichkeit zur Entfernung des Festigers liegt darin, ein geeignetes Lösungsmittel zu verwenden.

Erfolgt die Festigerentfernung durch ein Lösungsmittel, durch Sublimation oder mittels bakterieller Zersetzung bleibt die erforderliche Temperatur sowieso weit unter der Sintertemperatur, so daß auch hier keinerlei termisch bedingte Verzugserscheinungen bzw. Materialspannungen auftreten.

Die erfindungsgemäße Vorgangsweise ist absolut unabhängig von der Art des Herstellungsverfahrens des porösen Formkörpers, es können alle vorstellbaren Möglichkeiten wie z. B. Spritzgießen, Druckgießen, Heißgießen, Trockenpressen, Folien gießen usw. angewandt werden, in jedem Fall kann die erfindungsgemäße Füllung der Formkörper-Poren mit einem Festiger angewandt und so die oben diskutierten Nachteile der bisher bekannten Fertigungsweisen vermieden werden.

Ein besonders bevorzugtes Anwendungsgebiet von in erfindungsgemäßer Weise hergestellten porösen Keramikbauteilen liegt in der Herstellung von MMC (metal matrix composite)-Bauteilen. Dort dient der Keramikbauteil als sog. Vorform, deren Poren mit flüssigem Metall infiltriert werden. Nachdem das zur Porenausfüllung verwendete Metall, wie z. B. Aluminium, Kupfer od. dgl. nicht mit dem Vorformmaterial benetzbar ist, muß es in die Poren "hineingezwungen" werden, wofür verschiedene Methoden bekannt sind. Die wichtigsten Methoden sind die Druckinfiltration, wobei das flüssige Metall durch äußeren Druck – erzeugt durch Gas oder über Druckstempel – in die Vorform gepreßt und dort bis zur Erstarrung gehalten wird und die spontane Infiltration, wobei sowohl der Atmosphäre als auch dem Metall die Oberflächenspannung aufhebende Zusätze beigemengt werden (für Aluminium z. B. Magnesium), und damit das drucklose Durchsetzen der Vorformporen ermöglichen.

Die in erfindungsgemäßer Weise hergestellten porösen Formkörper können für sämtliche der bekannten MMC-Her-

stellungsverfahren eingesetzt werden. In diesem Zusammenhang ist der Einsatz eines porösen SiC-Formkörpers als Vorform, der mit Aluminium infiltriert wird, anzuführen.

Analog kann auch ein poröser Metallbauteil als Vorform dienen, deren Poren mit einem anderen Metall aufgefüllt werden, um so Metall/Metall-Verbundmaterialien wie z. B. W/Cu zu bilden.

Die Herstellung eines MMC-Bauteils, der eine in erfindungsgemäßer Weise erzeugte Vorform aufweist, kann beispielsweise folgendermaßen durchgeführt werden:

Es wird zuerst eine SiC-Pulvermischung hergestellt, bestehend aus den Kornfraktionen 60% SiC-Pulver F800, Rest 40% SiC-Pulver F230, dem Binder Polyvinylalkohol 5% und 1% Paraffin als Gleitmittel. Mittels Trockenpressen wird dann bei einem Druck von 350 MPa eine Platte mit den Abmessungen 30×60×1 mm geformt. Der Formling wird auf eine poröse Unterlage gelegt und unter Luft von Raumtemperatur auf 900°C aufgeheizt. Der Entbinderungs Vorgang wird mit 2°C/min durchgeführt bis 500°C. Der anschließende Sintervorgang wird mit 5°C/min durchgeführt. Die maximale Sinter-  
 10 ter-temperatur von 900°C wird zwei Stunden gehalten. Dann werden die Teile innerhalb von 12 h auf Raumtemperatur langsam abgekühlt. Anschließend wird der Formling vorgewärmt und mit Paraffin getränkt. Tränktemperatur 80°C, Tränk-  
 15 dauer 10 min. Der getränkte Formling wird herausgenommen und an Luft erkalten gelassen. Dabei erstarrt der Festiger und verleiht dem Formling eine ausreichende Eigenfestigkeit. Der Formling wird anschließend in ein Fräsmaschine gespannt und dort mittels PKD-Werkzeugen in die gewünschte Endform gebracht. Der fertigbearbeitete Formkörper wird dann vom Festiger befreit. Hierzu wird der Formkörper wieder auf eine poröse feuerfeste Unterlage gelegt und in den Ofen geschoben und unter Luft von Raumtemperatur auf 750°C aufgeheizt bei einer Heizrate von 5°C/min. An-  
 20 schließend wird der Formkörper im Ofen mit 5°C/min abgekühlt. Dieser Formkörper wird dann in die Gußform gelegt und mittels Gasdruck von 50 bar mit der Al-Legierung AlSi3Cu infiltriert.

Soll der herzustellende Keramik- oder Metallformkörper eine dichte Konsistenz aufweisen, so ist erfindungsgemäß vorgesehen, den Formling nach dem trennenden Bearbeitungsvorgang abermals – diesmal zu einem dichten Formkörper – zu sintern. Dabei treten natürlich wieder Schrumpfungsvorgänge auf, so daß die durch die Bearbeitung erzielten Ab-  
 25 messungen wieder geringfügig verändert werden. Als wesentlicher Vorteil ergibt sich aber dennoch, daß kein komplexes und deshalb teures Gießwerkzeug notwendig ist, da die genaue Bauteilstruktur auch hier aus einem Teil mit einfacher Geometrie, wie z. B. rechteckiger Platte herausgearbeitet werden kann.

#### Patentansprüche

- 30 1. Verfahren zur Herstellung von keramischen oder metallischen Formkörpern, bei dem eine Mischung aus keramischem bzw. metallischem Pulver und Bindemittel fließfähig gemacht, in die gewünschte Form gebracht wird und anschließend der Binder durch Erhitzen ausgetrieben und der dabei entstehende Formling zu einem porösen Formkörper gesintert und durch trennende und abtragende Verfahren nachbearbeitet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Poren des gesinterten Formkörpers vor der trennenden und abtragenden Formgebung mit einem Festiger gefüllt werden, welcher Festiger nach Abschluß des trennenden und abtragenden Bearbeitungsvorganges wieder entfernt wird.
- 35 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Festiger ein Material ausgewählt aus der Gruppe der Thermoplaste, Polyacrylate, Polysaccharide, Fettalkohole, Fettsäuren und ihre Salze oder Fettsäureamide verwendet wird.
- 40 3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Festiger ein anorganisches Material, wie z. B. Silikate, verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Festiger durch Erhitzen oder durch Sublimation aus dem Formkörper entfernt wird.
- 45 5. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Festiger mittels eines Lösungsmittels aus dem Formkörper entfernt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Formling vor dem trennenden Bearbeitungsvorgang zu einem porösen Formkörper, aufweisend eine Porosität von 10–50 Vol.-%, vorzugsweise 20–40 Vol.-%, im besonderen 28–32 Vol.-%, gesintert wird.
- 50 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper nach dem trennenden und abtragenden Bearbeitungsvorgang abermals gesintert wird.
8. Verwendung eines porösen keramischen Formkörpers, hergestellt durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 als Vorform für ein MMC (metal matrix composite)-Bauteil.